

# Inhaltsverzeichnis

<b>Liste der verwendeten Formelzeichen</b>	<b>IX</b>
<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>Kapitel 1</b>	<b>3</b>
<b>Stand der Technik bei Sensoren im Kfz-Innenraum für die Insassensicherheit</b>	
1.1 Bestimmung von Abständen und Positionen	3
1.1.1 Kapazitive Sensoren	3
1.1.2 Optische Sensoren	5
1.1.3 Ultraschallsensoren	6
1.1.4 Radarsensoren	7
1.2 Stand der Technik zur Bestimmung physiologischer Parameter	8
1.2.1 Drucksensorik auf Basis der Piezotechnologie	8
1.2.2 Widerstands- und kapazitätsveränderliche Bauelemente	9
1.2.3 Herzschlagmessung mit Hilfe von Infrarotsensoren	9
1.3 Stand der Technik zur Bestimmung des Herzschlags mit Hilfe von Radarsystemen	10
<b>Kapitel 2</b>	<b>11</b>
<b>Technische Grundlagen</b>	
2.1 Wellenausbreitung	11
2.2 Spezifische Absorptionsrate (SAR)	11
2.2.1 Definition der spezifischen Absorptionsrate	11
2.2.2 Direkte Feldwirkungen	11
2.2.3 Athermische Effekte	12
2.2.4 Berechnungsmöglichkeiten der spezifischen Absorptionsrate	13
2.2.5 Zulässige Werte	14
2.3 Radarsysteme	16
2.3.1 Radarprinzipien	16
2.3.2 Radarverfahren	16
<b>Kapitel 3</b>	<b>25</b>
<b>Physiologische Grundlagen</b>	
3.1 Biologie, Physiologie des Menschen	25
3.2 Allgemeiner Überblick über die menschliche Anatomie	25
3.3 Das Herz	26

3.3.1	Anatomie des menschlichen Herzens	26
3.3.2	Messung der Herzkontraktion / Herzbewegung	28
3.4	Der menschliche Kreislauf	34
3.4.1	Aufgaben und Aufbau des kardiovaskulären Systems	34
3.4.2	Charakteristische Werte des arteriellen Blutdrucks	35
3.5	Die menschliche Atmung	37
3.5.1	Anatomie des Respirationstrakts	37
3.5.2	Atmungsbewegungen von Thorax und Lunge	41
<b>Kapitel 4</b>		<b>43</b>
<b>Anwendungskonzepte für Radarsysteme im Kfz-Innenraum</b>		
4.1	Anwendungsmöglichkeiten	43
4.1.1	Sicherheitssensor für den Kofferraum	43
4.1.2	Sensor für die Personenklassifizierung	43
4.1.3	Sensor für die Fahrerzustandserkennung	44
4.1.4	Sensor für die Fahrgastraumüberwachung	45
4.2	Personenklassifizierung mit Hilfe des menschlichen Herzschlages	48
4.3	Fahrermonitoring / Fahrerzustandserkennung	50
4.3.1	Pilotstudie „Fahrerzustandserkennung“	50
4.3.2	Ergebnisse der ersten Studie Fahrerzustandserkennung	52
4.3.3	Ergebnisse der Müdigkeitserkennung über den Lidschlag und Spurverhalten	53
4.3.4	Untersuchte Sensoren im Rahmen des Projekts Fahrerzustandserkennung	55
<b>Kapitel 5</b>		<b>61</b>
<b>Analytische und numerische Berechnungen</b>		
5.1	Beschreibung des Übertragungskanal	61
5.1.1	Medium Luft	61
5.1.2	Betrachtete Frequenzbereiche	62
5.1.3	Messumgebung Kraftfahrzeug	62
5.1.4.	Größenunterschiede bei Personen	63
5.1.5.	Bestimmung des räumlichen Volumens	66
5.2	Der Mensch als Messobjekt	67
5.3	Analytische Berechnungen am vereinfachten menschlichen Körpermodell	68
5.3.1.	Analytische Berechnung bei der Frequenz 2.45GHz	70
5.3.2	Analytische Berechnungen bei der Frequenz 24GHz	77
5.3.3	Zusammenfassung der Ergebnisse für die analytischen Berechnungen für die Signalwege im menschlichen Körpermodell	77
5.4	Numerische Reflexionsberechnungen am vereinfachten Menschmodell	78
5.4.1	Übersicht über die durchgeführten Berechnungen	79

5.4.2	Ergebnisse aus den Berechnungen am vereinfachten Körpermodell	85
5.5	Numerische Reflexionsberechnungen am Menschmodell „Hugo“	86
5.5.1	Berechnungen mit MicroWave Studio und Menschmodell „Hugo“	86
5.5.2	Numerische Berechnungen des gestreuten Feldes	88
5.5.3	Numerische SAR-Berechnungen	91
5.6	Randbedingung Kraftfahrzeug	94
5.6.1	Antennenmontageorte im Kraftfahrzeug	95
5.6.2	Geometrische Berechnungen zu den Antennenmontageorten im Kraftfahrzeuginnenraum	96
5.6.2	Numerische Feldberechnungen nach Antennenpositionen im Kraftfahrzeuginnenraum	99
5.7	Zusammenfassung der Ergebnisse aus Kapitel 5	106
<b>Kapitel 6</b>		<b>107</b>
<b>Dimensionierung der Radarsensoren für den Kfz-Innenraum</b>		
6.1	Randbedingungen für die Dimensionierung	107
6.1.1	Verwendbare Frequenzbereiche	107
6.1.2	Sensoranwendungen	108
6.2	Dimensionierung und Abschätzung der Funktionalitäten für den Frequenzbereich 1	109
6.2.1	Zusammenfassung für die Systemdimensionierung für den Frequenzbereich 2,45GHz	115
6.2.2	Systemkonzept für ein Radarsystem zur Bestimmung des Herzschlags im Fahrzeuginnenraum	117
6.2.3	Überlegungen zum Empfangssignal bei 2,45GHz zur Herzschlagmessung.	121
6.3	Abstandsmessung bei der Frequenz 24GHz.	122
6.3.1	Zusammenfassung der Systemdimensionierung für den Frequenzbereich bei 24GHz	123
6.4.	Auswahl der Methoden zur Geschwindigkeitsbestimmung	124
<b>Kapitel 7</b>		<b>125</b>
<b>Radarsensor und Messsystem bei 2,45GHz</b>		
7.1	Überblick über das realisierte Messsystem	125
7.2	Realisierter Radarsensor für 2,45GHz	128
7.2.1	Zugekaufte Komponenten	128
7.2.2	Selbstentworfene Komponenten	128
7.2.3	HF-Signalerzeugung	133
7.2.4	Filter für den NF-Bereich	134
7.2.5	Zeitverzögerung für den Impulsbetrieb	134
7.3	Antennen für den Frequenzbereich 2,45GHz	136
7.3.1	Einzelantennen	136
7.3.2	Antennengruppen	141

---

7.4	Software zur Datenauswertung für die Anwendung „Herzschlagdetektion“	147
7.4.1	Prinzip der „Signalauswertung Version 1“	147
7.4.2	Prinzip der „Signalauswertung Version 2“	150
<b>Kapitel 8</b>		<b>159</b>
<b>Messsystem und realisierter Radarsensor bei 24GHz</b>		
8.1	Messsystem	159
8.1.1	Messaufbau	159
8.1.2	Meßprinzip zur Entfernungsbestimmung bei 24GHz	160
8.2	Realisierter Radarsensor	161
<b>Kapitel 9</b>		<b>167</b>
<b>Messergebnisse der untersuchten Radarsensoren</b>		
9.1	2,45GHz Radarsensoren	167
9.1.1	Messungen mit dem Radarsensor der ersten Ausbaustufe bei 2,45GHz.	167
9.1.2	Messergebnisse mit dem Radarsensor in der dritte Ausbaustufe	171
9.1.3	Zwischenergebnis der Messergebnisse mit Einfluss auf den verwendeten Radarsensor	175
9.1.4	Messergebnisse mit der Korrelationsauswertung	175
9.1.5	Abschlussmessungen mit Antennengruppen	180
9.1.6	Zusammenfassung der Ergebnisse	180
9.2	Messergebnisse bei 24GHz	181
9.2.1	Messergebnisse für die Abstandsbestimmung	182
9.2.2	Zusammenfassung der Ergebnisse für die Messungen in der Laborumgebung	185
9.2.3.	Graphische Darstellung der weiteren Ergebnisse	185
<b>Kapitel 10</b>		<b>195</b>
<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>		
<b>Anhang A</b>		<b>197</b>
Ergänzungen zu Kapitel 3: Physiologische Grundlagen		
A.1	Morphologische Gliederung des Herzens	199
A.2	Aufbau der Herzwand / Perikard	199
A.3	Erregung des menschlichen Herzens	200
A.3.1	Autorhythmie	200
A.3.2	Erregungsausbreitung	201
A.3.3	Hierarchie der Erregungsbildungszentren	202
A.3.4	Aktionsphasen des Herzens (Übersicht)	203
A.3.5	Nomenklatur des EKGs / Übersicht	204
A.4	Bemerkung zur Anatomie des Gefäßsystems	204
A.4.1	Makroskopische Anatomie des Gefäßsystems	204
A.5	Funktion des arteriellen Gefäßsystems	205
A.5.1	Dehnbarkeit und rhythmische Füllung des Arterien-systems	205

A.5.2	Arterielle Druck und Strompulse	205
A.6	Anatomie der Lunge und der Atemwege / Abbildungen	207
<b>Anhang B</b>		<b>209</b>
Weiterführende Informationen zur analytischen Übertragungsweg- berechnung und Signalverarbeitung		
B.1	Anatomie	209
B.2	Gewebeparameter	210
B.3	Berechnete Werte für die analytische Betrachtung des Wegs 1+ bei 2,45GHz	214
B.4	Abmessungen im Kraftfahrzeug	215
B.5	Erklärungen zur Diskretisierung von MicroWave-Studio	216
B.6	Ergebnis der MicroWave- Studio Berechnung „Antenne schräg vor Person“	218
B.7	Abschätzung der möglichen Empfangssignale	220
B.8	Berechnungen „Menschmodell im Fahrzeuginnenraum“	221
B.9	Software zur Übertragungswegberechnung im Fahrzeuginnenraum	224
<b>Anhang C</b>		<b>225</b>
<b>Personenklassifizierung mit Hilfe des menschlichen Herzschlags</b>		
C.1	Regulation der Pumpleistung des Herzens	225
C.1.1.	Intrakardialer Anpassungsmechanismus	225
C.1.2.	Extrakardialer Anpassungsmechanismus	226
C.1.3.	Anpassung der Herzfrequenz	226
C.2	Werte für den Kreislauf (Puls- und Atemfrequenz)	226
C.2.1	Veränderung über das Alter	226
C.2.2	Unterschiede durch Trainingszustand und Geschlecht	228
C.3	Beeinflussung des Kreislaufs durch Arbeit und Belastung, speziell beim Autofahren	229
C.3.1	Generelle Beeinflussung	229
C.3.2	Belastung des Herz-Kreislaufes beim Autofahren	231
<b>Anhang D</b>		<b>237</b>
<b>Bestimmung der radialen Herzgeschwindigkeit</b>		
D.1	Ultraschall	237
D.1.1.	Ultraschalluntersuchungsmöglichkeiten	237
D.1.2	Bildgebung	239
D.1.3.	Bestimmung radialer Herzgeschwindigkeiten mit Hilfe von Ultraschall	241
D.2	Herzgeschwindigkeitsmessung mit Hilfe eines MRT - Gerätes	243
D.2.1	Radiale Geschwindigkeit	244
D.3	Stand der Technik zur Bestimmung der Herzbewegung im medizinischen Umfeld	244

---

<b>Anhang E</b>		<b>245</b>
<b>Schaltpläne</b>		
E.1	Hochfrequenzteil für 2,45GHz	245
E.2	Schaltpläne Frequenzerzeugung 2,45GHz	246
E.3	Schaltpläne Zeitbasis	248
E.4	Gekaufte Komponenten für 2,45GHz	251
E.5	NF-Schaltungsteil bei 2,45GHz	252
E.6	Zeitbasis für 24GHz	255
E.7	HF-Komponenten bei 24GHz	255
<b>Anhang F</b>		<b>257</b>
<b>Antennenberechnungen</b>		
F.1	Abmessungen der Antennentypen	257
F.2	Messergebnisse Einzel- und Gruppenantennen	258
F.3	Antennenmesssystem Universität Ulm	280
<b>Anhang G</b>		<b>283</b>
<b>MATLAB-Programme</b>		
G.1	MATLAB-Programm der Signalauswertung Version 1 „Hochpass“	283
G.2	MATLAB-Programm der Signalverarbeitung Version 1 „Bandpass“	285
G.3	MATLAB-Programm der Signalverarbeitung Version 2	286
<b>Anhang H</b>		<b>293</b>
<b>Wellenausbreitung</b>		
H.1	Wellenausbreitung	293
H.1.1	Maxwellsche Gleichungen	293
H.1.2	Wellengleichungen und ebene Welle	294
H.1.3	Ebene Wellen an Grenzflächen	296
H.1.4	Ebene Welle im verlustbehafteten Medium mit	299
H.1.5	Leistungsbetrachtung in einer mehrlagigen Materialanordnung	301
<b>Literaturverzeichnis</b>		<b>303</b>
<b>Lebenslauf</b>		<b>315</b>